

อิทธิพลของ Cr_2O_3 ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางแสงในแก้วบอเรต Influence of Chromium Oxide on Physical and Optical Properties in Borate Glasses

ยศกิต เรืองทวีป^{1,2} อรอนงค์ แซ่มเล็ก³ เบญจวรรณ ไหมสีงาม³ และ จักรพงษ์ แก้วขาว^{1,2}

¹ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

²โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

³ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

*Yotsakitt@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมแก้วบอเรตโดยวิธีการหลอมแล้วทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว จากนั้นศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางแสงของแก้วตัวอย่าง โดยแก้วถูกเตรียมในอัตราส่วน $20\text{Na}_2\text{O} : 20\text{CaO} : 20\text{Al}_2\text{O}_3 : (40-x)\text{B}_2\text{O}_3 : x\text{Cr}_2\text{O}_3$ โดยที่ x คือปริมาณ Cr_2O_3 ที่ใส่ลงไป ปริมาณต่าง ๆ กัน คือ 0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์ โดยโมล ตามลำดับ ผลที่ได้พบว่าแก้วตัวอย่างมีสีโทนเขียว ซึ่งสอดคล้องกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ Cr^{3+} ที่ 630 นาโนเมตร และค่าโคออดิเนตลีในระบบ $\text{CIE } L^*a^*b^*$ จากเครื่อง ยูวี - วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ส่วนค่าความหนาแน่นและค่าดรรชนีหักเหมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 2.4153-2.4826 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าดรรชนีหักเหอยู่ในช่วง 1.5335-1.5476

คำสำคัญ: แก้วบอเรต, สเปกตรัมการดูดกลืนแสง, สมบัติทางแสง

Abstract

In this work, the glass samples were prepared by the normal melt-quench technique. The physical and optical properties of borate glasses doped with Cr_2O_3 in composition $20\text{Na}_2\text{O} : 20\text{CaO} : 20\text{Al}_2\text{O}_3 : (40-x)\text{B}_2\text{O}_3 : x\text{Cr}_2\text{O}_3$ (where $x = 0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05$ mol%) have been investigated. The results show that the optical absorption spectra of glass samples were measured by UV-visible spectrophotometer in the wavelength range 300-1100 nm. The absorption peaks locate around 630 for all Cr_2O_3 concentration that are associated to Cr^{3+} ions and produce the green color. The color of glasses were also measured in $\text{CIE } L^* a^* b^*$ system. Moreover, the glass samples have a density of 2.4153 to 2.4826 g/cm^3 and the refractive index of 1.5335 to 1.5476.

Keywords: Glasses, Absorption spectra, Optical properties

1. บทนำ

ในปัจจุบันการเติมธาตุโลหะทรานซิชันในแก้วชนิดต่าง ๆ เป็นที่นิยมและได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ของอะตอมและไอออนของโลหะทรานซิชันมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับสมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้ว โดยเฉพาะสมบัติทางแสงสามารถก่อให้เกิดสีต่าง ๆ ในแก้วได้ และที่สำคัญที่สุดของโลหะทรานซิชันคือ มีเลขออกซิเดชันได้หลายค่าและต่างกัน 1 หน่วย หรือมากกว่า แต่ละเลขออกซิเดชันให้สีที่แตกต่างกัน ทำให้ธาตุโลหะทรานซิชัน

บางชนิดสามารถเกิดสีสันได้หลากหลาย (พินิต รัตนานุกูล, 2549 และ El Batal et al., 2012) โครเมียมออกไซด์ (Cr_2O_3) เป็นธาตุโลหะทรานซิชันที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมแก้วและเซรามิกซ์เป็นอย่างมาก โดยทั่วไปโครเมียมสามารถมีเลขออกซิเดชันได้หลายค่าขึ้นอยู่กับสภาวะการหลอมแก้ว การเพิ่มอุณหภูมิในการหลอม ระยะเวลาในการหลอม และการเติมสารรีดิวซ์บางชนิด แต่โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะไตรวาเลนต์ (Cr^{3+}) ซึ่งให้สีเขียว (Ferreira da silva et al., 1994) นอกจากนี้อิทธิพลของโครเมียมที่มีต่อสมบัติของแก้วชนิดต่าง ๆ ก็ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันด้วย (Bamford, 1977) ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาวิจัย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของโครเมียมออกไซด์ที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและทางแสงในแก้วบอเรต

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 การหลอมแก้ว

เตรียมส่วนผสมในการหลอมแก้วจากร้อยละโดยโมลของสารเคมีต่าง ๆ ในสูตร $20\text{Na}_2\text{O} : 20\text{CaO} : 20\text{Al}_2\text{O}_3 : (40-x)\text{B}_2\text{O}_3 : x\text{Cr}_2\text{O}_3$ โดยที่ x คือปริมาณ Cr_2O_3 ที่ใส่ลงไปเป็นปริมาณต่าง ๆ กัน คือ 0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ตามลำดับ จากนั้นผสมสารเคมีทั้งหมดให้เป็นเนื้อเดียวกันลงในบ้ำหลอม และนำเข้าเตาหลอมไฟฟ้าโดยให้ความร้อนอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ค้างไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อให้สารประกอบหลอมเหลวเป็นเนื้อเดียวกันจะได้น้ำแก้วเหลว หลังจากนั้นเปิดฝาเตานำเอาบ้ำหลอมออกจากเตาเผาและเทน้ำแก้วเหลวลงในแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิม ที่ไว้จนแก้วเริ่มแข็งตัวจึงนำแก้วออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อแก้วเย็นตัวลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จะถูกนำไปขัดและตัดให้มีขนาด $1.0 \times 1.5 \times 0.3$ ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ของแก้ว

2.2 การวัดคุณสมบัติแก้ว

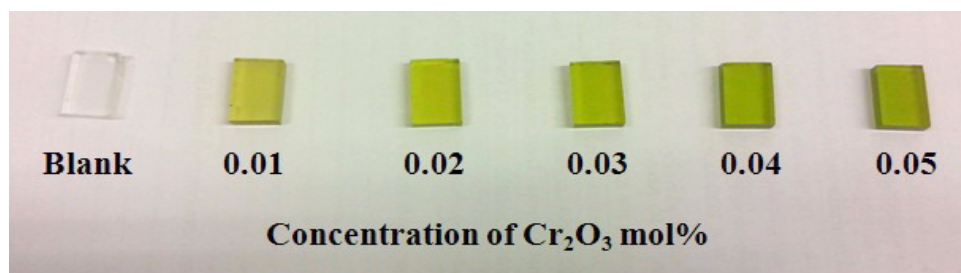
งานวิจัยได้ทำการวัดค่าดัชนีหักเหของแสงด้วยเครื่อง Abbe Refractometer (ATAGO 3-T) และหาความหนาแน่นของแก้วด้วยหลักอาคิมีตีส ดังสมการที่ 1

$$\rho = \frac{W_A}{W_A - W_B} \times \rho_{\text{water}} \quad (1)$$

เมื่อ W_A คือน้ำหนักของแก้วในอากาศ และ W_B คือน้ำหนักของแก้วในโซลีน โดยที่ความหนาแน่นของโซลีน (ρ_{water}) มีค่าเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตัวอย่างแก้วไปวัดการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Variance Cary-50) ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-1,100 นาโนเมตร และวัดสีของแก้วในระบบ CIE $L^*a^*b^*$

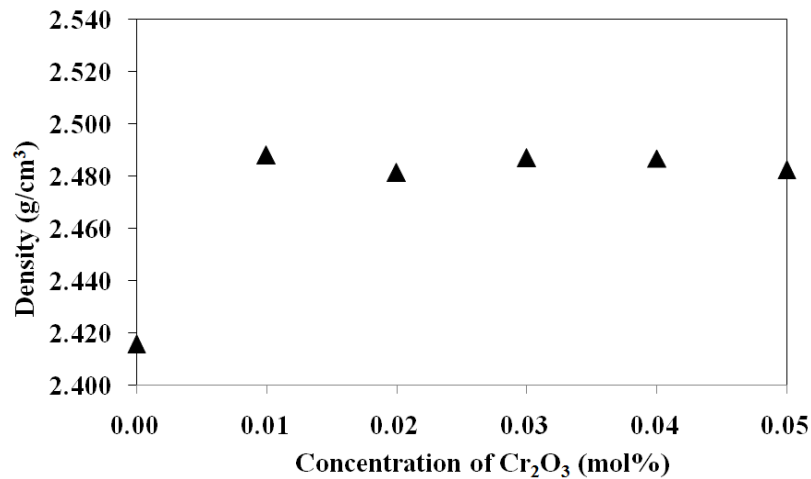
3. ผลการวิจัย

จากการทดลองหลอมแก้วที่เติม Cr_2O_3 ในปริมาณ 0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยโมลตามลำดับ พบว่าแก้วตัวอย่างที่ได้มีลักษณะใสและสีเป็นเนื้อเดียวกัน โดยแก้วที่ไม่เติม Cr_2O_3 จะมีลักษณะใสไม่มีสี และสังเกตเห็นโทนสีเขียวในแก้วที่มีการเติม Cr_2O_3 โดยความเข้มของสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Cr_2O_3 เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปภาพที่ 1

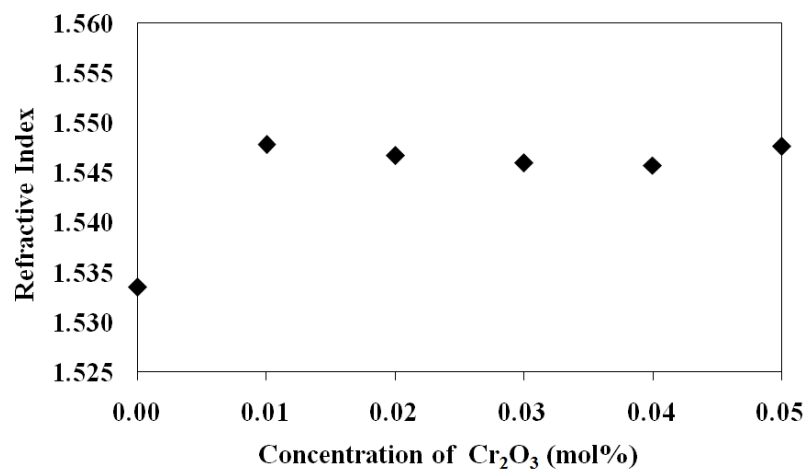


รูปภาพที่ 1 แก้วตัวอย่างที่เติม Cr_2O_3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

รูปภาพที่ 2 แสดงค่าความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง พบว่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่ม Cr_2O_3 ลงไป และมีแนวโน้มไม่ชัดเจนเมื่อปริมาณความเข้มข้นของ Cr_2O_3 เพิ่มขึ้น โดยค่าความหนาแน่นที่วัดได้มีค่าตั้งแต่ 2.4153-2.4826 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นนี้ ยังส่งผลให้ค่าดรรชนีหักเหของแก้วเพิ่มขึ้นอีกด้วย โดยการเพิ่มขึ้นของดรรชนีหักเหตามค่าความหนาแน่นเป็นไปตามทฤษฎี ไดอิเล็กทริกแบบคลาสสิก (classical dielectric theory) (Marler, 1988) ที่อธิบายว่าดรรชนีหักเหเพิ่มขึ้นกับความหนาแน่นและค่า polarisabilities ของตัวกลาง ซึ่งค่าดรรชนีหักเหที่วัดได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่น โดยมีค่าตั้งแต่ 1.5335-1.5476 ดังแสดงในรูปที่ 3

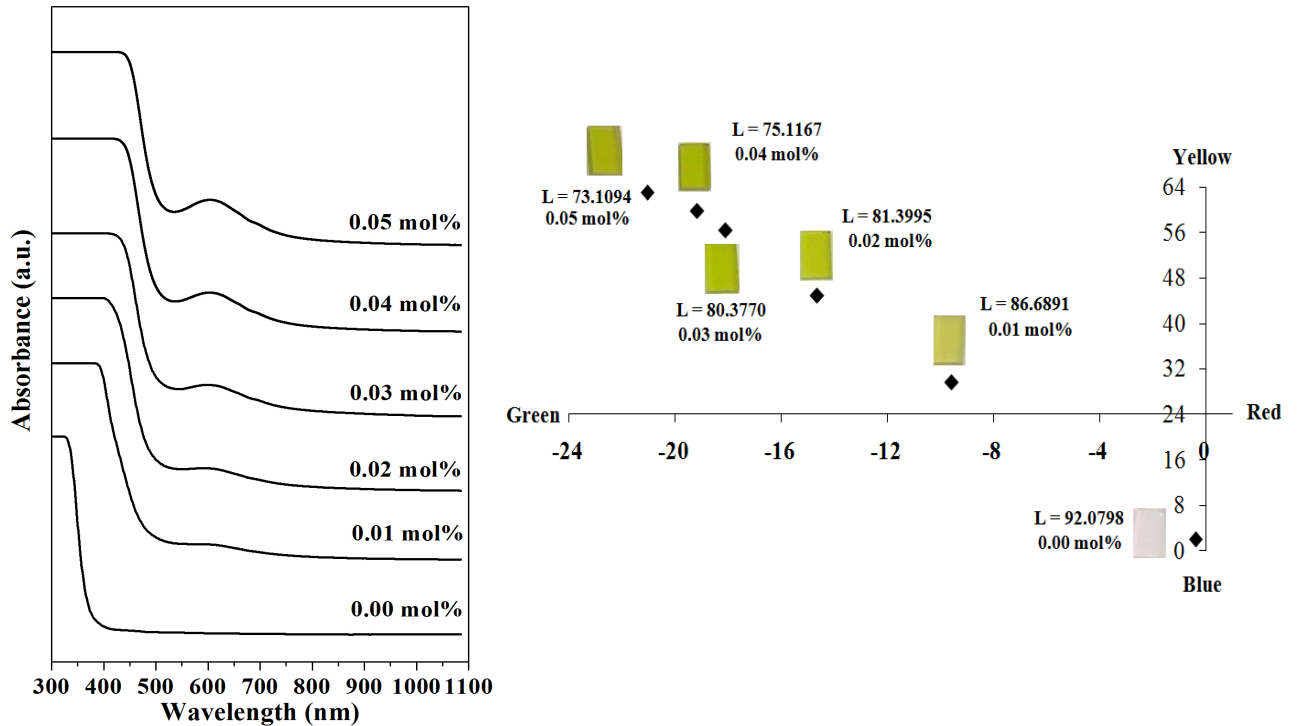


รูปภาพที่ 2 ความหนาแน่นของแก้วตัวอย่าง



รูปภาพที่ 3 ค่าดรรชนีหักเหของแก้วตัวอย่าง

ภาพที่ 4 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง 300-1,100 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่าง พบว่า มีช่วงการดูดกลืนแสงอยู่ในบริเวณ 630 นาโนเมตร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับชั้นพลังงานของ Cr^{3+} (${}^4\text{A}_2 \rightarrow {}^4\text{T}_2$) ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการเกิดสีเขียวในแก้วเบเรตของ Duan et al. (2003) ส่วนค่าโคออดิเนตสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ของแก้วตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 5 พบว่าค่าสีที่ได้สอดคล้องกับสีของแก้วที่เห็นด้วยตาเปล่า และพบว่าค่าสีเขียวของแก้วจะสูงสุดที่ความเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยโมล



รูปภาพที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงในช่วง 300 – 1,100 นาโนเมตร ของแก้วตัวอย่าง (ซ้าย)
 รูปภาพที่ 5 ค่าโคออดิเนตสีในระบบ CIE L*a*b* ของแก้วตัวอย่าง (ขวา)

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการหลอมแก้วในสูตร $20\text{Na}_2\text{O} : 20\text{CaO} : 20\text{Al}_2\text{O}_3 : (40-x)\text{B}_2\text{O}_3 : x\text{Cr}_2\text{O}_3$ โดยที่ x คือปริมาณ Cr_2O_3 ที่ใส่ลงไปเป็นปริมาณต่าง ๆ กัน คือ 0.00, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยโมล ตามลำดับ โดยทำการหลอมที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ค้างไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางแสงของแก้วตัวอย่าง ผลที่ได้พบว่าแก้วมีโทนสีเขียวในแก้วที่มีการเติม Cr_2O_3 โดยความเข้มของสีเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ Cr_2O_3 เพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงจากเครื่อง ยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และสอดคล้องกับค่าโคออดิเนตสีในระบบ CIE L*a*b* ส่วนค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีหักเหมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยมีความหนาแน่นและดัชนีหักเหของแก้วตัวอย่างอยู่ในช่วง 2.4153-2.4826 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 1.5335-1.5476 ตามลำดับ

5. เอกสารอ้างอิง

พินิต ระตะนานุกูล. (2549). เคมี 2 (ธาตุเรฟรีเซนเททีฟ กลุ่ม S ธาตุเรฟรีเซนเททีฟ กลุ่ม P ธาตุทรานซิชัน แลนทาไนด์และออกทีไนด์ ของแข็ง). กรุงเทพฯ : มุลินธิ สอวน.

Bamford, C.R. (1977). *Colour Generation and Control in Glass*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

Duan, X. L., Yuan, D. R., Cheng, X. F., Wang, X. Q., Wang, Z. M., Xu, D., & Lv, M. K. (2003). Optical Absorption of Co^{2+} -Doped Silica Gel-Derived Glasses. *Optical Materials*, 23 (1-2), 327–330.

- El Batal, H. A., Abdelghany, A. M., & Ali, I. S. (2012). Optical and FTIR studies of CuO-doped lead borate glasses and effect of gamma irradiation. **Journal of Non-Crystalline Solids**, 358 (4), 820-825.
- Ferreira da silva, M. G., & Fernández Navarro, J. M. (1994). Preparation and characterization of silicate gel glasses containing Cr₂O₃. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, 2 (1-3), 895-901.
- Marler, B. (1988). On the Relationship between Refractive Index and Density for SiO₂-polymorphs. **Physics and Chemistry of Minerals**, 16 (3), 286-290.